

# ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ ПУТЕМ ДОБАВЛЕНИЯ ВОДОРОДА В БЕНЗО- ВОЗДУШНЫЙ СМЕСЬ

*Джалилов Ж.Х.*

*Ташкентский государственный транспортный университет*

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы получения водородсодержащего синтез-газа в компактных бортовых каталитических генераторах и его использование в качестве добавки к основному моторному топливу (природному газу) двигателей внутреннего сгорания. Предложены новые принципы организации рабочего процесса газодизельного двигателя со смешанным количественно-качественным регулированием мощности и использованием синтез-газа в качестве топливной добавки, инициирующей эффективное воспламенение на всех режимах работы двигателя, включая малые и средние нагрузки. Показана возможность снижения эмиссии вредных выбросов и эксплуатационного расхода топлива автотранспортными средствами до значений, предписываемых действующими нормативными документами, путем использования топливных композиций, содержащих добавки обогащенного водородом синтез-газа.

**Ключевые слова:** синтез-газ, природный газ, водородсодержащее топливо, парциальное окисление, паровая конверсия, углекислотная конверсия, газодизель.

## INCREASING VEHICLE PERFORMANCE BY ADDING HYDROGEN TO THE GASOLINE-AIR MIXTURE

*Djalilov J.X.*

*Tashkent State Transport University*

**Abstract:** The issues of obtaining hydrogen-containing synthesis gas in compact on-board catalytic generators and its use as an additive to the main motor fuel (natural gas) of internal combustion engines are considered. New

principles for organizing the working process of a gas-diesel engine with mixed quantitative and qualitative power control and the use of synthesis gas as a fuel additive that initiates efficient ignition in all engine operating modes, including low and medium loads, are proposed. The possibility of reducing the emission of harmful emissions and the operating fuel consumption of motor vehicles to the values prescribed by the current regulatory documents by using fuel compositions containing additives of hydrogen-enriched synthesis gas is shown.

**Keywords:** synthesis gas, natural gas, hydrogen-containing fuel, partial oxidation, steam reforming, carbon dioxide reforming, gas diesel.

Сегодня мы продолжаем тему использования водорода на транспорте и расскажем об еще одной технологии. Суть ее – использование незначительного количества водорода (или водородосодержащих добавок), как дополнительного компонента к стандартному топливу автомобиля: бензину, дизелю, либо газу. При этом экономия основного топлива может достигать 30 процентов, а выработка необходимого водорода может происходить прямо на борту автомобиля в момент движения.

Технология впервые появилась в момент топливного кризиса – высокие цены на нефть стимулируют человечество на поиск энергосберегающих технологий. Речь, правда, идет о первом нефтяном кризисом 70-х годов прошлого века.

Проблема экономии жидкого топлива (бензина и дизельного топлива), получаемого из нефти, ввиду постепенного истощения ее мировых запасов выдвигает на первый план вопрос использования в двигателях внутреннего сгорания природного газа. Природный газ является экологически чистым и доступным видом топлива, его доказанные запасы в Российской Федерации составляют 38,9 трлн ст. м<sup>3</sup> или 20 % от мировых запасов.

Единая и обширная система газоснабжения, действующая на территории Российской Федерации и Республики Беларусь, обеспечивает

подачу природного газа более чем в 20 тысяч населенных пунктов, включая более 800 городов, автотранспорт которых является потенциальным потребителем природного газа

Однако масштаб использования этого, безусловно, перспективного вида моторного топлива до сих пор остается незначительным. Экономический и экологический эффекты от его применения в масштабах Союзного государства минимальны.

Принцип действия данной технологии основан на том, что электролизный аппарат, берущий энергию из бортовой электрической сети автомобиля, разлагает дистиллированную воду и направляет высвободившийся водород и кислород во впускной коллектор двигателя. Количество поступающих в дизель газов очень незначительно, в то время как они ощутимо повышают полноту сгорания дизельного топлива. За счет чего, в свою очередь меняется характер распространения факела пламени в рабочих цилиндрах моторов. Именно это и способствует повышению КПД дизельного двигателя и росту отдачи от традиционного топлива.

В качестве силовых агрегатов общественного и коммунального автотранспорта в Узбекистане используются, как правило, дизельные двигатели, имеющие высокие энергетические и мощностные показатели. Но в то же время высокая стоимость жидких топлив нефтяного происхождения, необходимость применения дорогостоящих каталитических компонентов на основе драгоценных металлов для нейтрализации отработавших газов значительно повышают эксплуатационные расходы. Перевод дизельных двигателей на газовые топлива рассматривается во всем мире как актуальная и экономически обоснованная задача.

Конвертация дизелей для работы на газовых топливах является также весьма эффективным путем снижения выбросов диоксида углерода  $CO_2$  с отработавшими газами двигателей. Этот эффект является следствием

особенностей процесса окисления метана, являющегося основным компонентом природного газа. Теоретически и экспериментально доказано, что переход с жидких моторных топлив нефтяного происхождения на природный газ обеспечивает снижение эмиссии CO<sub>2</sub> более чем на 20%. Надо отметить, что именно снижение выбросов токсичных компонентов и парниковых газов, а также значительная разница в рыночной стоимости природного газа по сравнению с жидкими топливами нефтяного происхождения являются определяющими факторами, побуждающими проводить мероприятия по переходу на газовые топлива.

Использование новых принципов организации сгорания топлива при создании перспективных образцов газомоторной техники обеспечит существенное снижение расхода топлива и эмиссии вредных выбросов.

В мировой практике нашли применение два способа конвертации дизельных двигателей в газовые.

Система HFI и по сей день известна и широко используется в Северной Америке. Она может работать с любым ДВС (дизель, бензин, природный газ). Крупные американские компании занимающиеся грузоперевозками оптом закупают у канадцев комплекты оборудования стоимостью от 4 до 14 тысяч долларов и не жалеют: экономия на использовании каждого большегруза около 700 \$ в месяц в расходах на топливо". Водородная установка окупается максимум за два года, и это не считая роста ресурса двигателя на котором она установлена и снижения воздействия на окружающую среду. Неоспоримые плюсы: Во-первых, не нужны какие-либо специализированные заправочные комплексы. Газ генерируется в компактной установке на борту самого автомобиля. Во-вторых, владельцы установок избавлены от необходимости хранения топливных элементов, тяжёлых баллонов с газообразным водородом или теплоизолированных - с жидким на борту автомобиля, так как весь объем

вырабатываемого газа тут же потребляется двигателем. В-третьих, ощутимая экономия на ГСМ.

Первый способ — конвертация дизельного двигателя в газовый однотопливный двигатель с принудительным (искровым) зажиганием. Такой способ конвертации предполагает снижение степени сжатия и регулирование мощности дросселированием, что становится причиной соответствующего ухудшения эффективного КПД по сравнению с базовым дизельным двигателем, особенно заметного на малых и средних нагрузках. Фактором, сдерживающим более широкое применение однотопливных газовых двигателей на автотранспортных средствах (АТС), является ограниченный радиус действия таких АТС, обусловленный отсутствием широкой сети газозаправочных станций. Эта концепция получила на сегодняшний день наибольшее распространение и реализуется при замене выработавшей ресурс техники с дизельными двигателями на новые АТС с однотопливными газовыми двигателями. В двигателях с принудительным (искровым) зажиганием может быть реализован и цикл Миллера в сочетании с высоким турбонаддувом, обеспечивающий возможность повышения геометрической степени сжатия и соответствующее увеличение КПД [2]. Для исключения детонационного сгорания цикл Миллера предполагает раннее (или позднее) закрытие впускного клапана для уменьшения эффективной (действительной) степени сжатия.

Второй способ предполагает конвертацию дизельного двигателя в двухтопливный двигатель с воспламенением от сжатия (газодизель) с использованием в рабочем процессе одновременно двух топлив. При этом сохраняется возможность работы двигателя только на дизельном топливе без ухудшения эксплуатационных характеристик. Это преимущество двигателя с двухтопливной системой питания становится если не решающим, то весьма значимым.

При конвертации дизельного двигателя в газодизель сохраняется высокая степень сжатия и качественное регулирование мощности, что благоприятно сказывается на его экономических и мощностных характеристиках. К числу достоинств второй концепции конвертации дизельных двигателей в газовые можно отнести и возможность перевода на газовое топливо автотранспорта, уже находящегося в эксплуатации. Это достоинство позволит в более короткий срок перевести на газовое топливо большой парк АТС, не дожидаясь замены дизельной автотехники по мере выработки ее ресурса на технику с газовыми двигателями.

Концепция перевода дизельных двигателей для работы по двухтопливному газодизельному процессу известна давно, но ее широкое распространение сдерживается рядом факторов.

Газодизель в своем классическом виде использует в качестве запальной дозы дизельное топливо. На режимах холостого хода и малых нагрузок величина запальной дозы составляет 80–90 % от общего расхода двух топлив, а на режимах средних и полных нагрузок — снижается до 10–15 %. В связи с этим, в условиях рядовой эксплуатации замещение дизельного топлива природным газом не превышает 60–70 % в зависимости от условий и режимов работы. К недостаткам «классической» схемы организации рабочего процесса газодизеля следует отнести и ухудшение протекания рабочего процесса на малых нагрузках из-за низкой скорости сгорания бедных и сверхбедных метано-воздушных смесей, на которых осуществляется работа в этом диапазоне нагрузок при качественном регулировании мощности, являющимся характерной особенностью двигателей с воспламенением от сжатия.

Как известно, метан  $\text{CH}_4$ , являющийся основным компонентом природного газа (78–99 % об.), обладает наивысшим среди углеводородов отношением числа атомов водорода к числу атомов углерода. При этом водород в молекуле метана находится в связанном виде, что делает его

хранение и транспортировку гораздо более удобными, выгодными и безопасными по сравнению с чистым баллонным водородом. Вследствие этого весьма перспективной представляется разработка технологий оптимального использования природного газа и содержащегося в нем водорода, не затрагивающих при этом такие критические и ресурсоемкие компоненты, как инфраструктура и логистика снабжения водородом. Устранение недостатков классических газодизелей за счет применения водородосодержащих топливных композиций (природный газ и водородосодержащий синтез-газ), являющихся более реакционно-активным топливом, чем природный газ, позволит улучшить процесс сгорания на малых и средних нагрузках.

Следует отметить, что перспективность и эффективность использования водорода как самостоятельного топлива для ДВС и как добавки к традиционным моторным топливам доказана в ходе многочисленных исследований последних 50 лет. Однако массовое использование водородосодержащего топлива на транспорте до настоящего времени не состоялось вследствие целого ряда нерешенных проблем, касающихся безопасности эксплуатации и хранения водорода на борту АТС

С целью повышения экологических и экономических характеристик двухтопливного двигателя (газодизеля) предлагается усовершенствовать его рабочий процесс за счет оптимизации систем питания и управления и использования в качестве дополнительного компонента топлива водородосодержащего синтез-газа, получаемого непосредственно на борту транспортного средства при помощи бортового компактного генератора путем каталитической конверсии части основного топлива (природного газа).

Идея получения водородосодержащей топливной композиции (синтез-газа) непосредственно на борту транспортного средства имеет ряд

преимуществ по сравнению с общепринятым вариантом решения вопроса повышения эффективности работы ДВС за счет добавок чистого водорода к основному топливу:

- возможность использования существующей системы автомобильных газонаполнительных компрессорных станций для заправки. Не требуется строительство специализированных водородных заправочных комплексов, которые, ввиду особых требований к безопасности (радиус безопасности не менее 500 м), практически невозможно вписать в сложившуюся инфраструктуру городов и населенных пунктов;

- высокая безопасность;

- малозатратность, т. к. конструкция двигателя не претерпевает существенных изменений.

В области исследований и разработки компактных генераторов водородсодержащего синтез-газа, работающих на разных принципах, специальных высокоэффективных катализаторов и каталитических процессов в Российской Федерации и Республике Беларусь успешно выполнен ряд работ теоретического и экспериментального характера.

Так, Институтом катализа им. Г.К. Борескова СО РАН в сотрудничестве с ФГУП «Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» разработан компактный бортовой генератор синтез-газа, конвертирующий часть основного топлива в водородсодержащий газ, который направляется в двигатель вместе с основным топливом. Генератор включает в себя каталитический реактор для воздушной конверсии углеводородного сырья на основе никелевых катализаторов, армированных сеткой из нержавеющей стали в целях предотвращения локальных перегревов в каталитическом блоке. Опытные образцы бортового генератора синтез-газа успешно прошли стендовые испытания в сочетании с двигателем с искровым зажиганием ЗМЗ–40522.10 и ходовые

испытания в составе автомобилей ГАЗ–2310 «Соболь» и ГАЗ–2217 «Баргузин», участвовавших в автопробегах Москва – Санкт-Петербург – Москва и Москва – Сочи – Москва (суммарное пройденное расстояние превысило 6 800 км). Полученные результаты подтвердили возможности обеднения рабочей смеси при введении добавки синтез-газа, сокращения расхода основного топлива (бензин или природный газ) до 15 %, существенного снижения эмиссии оксида углерода (на 60–90 % по сравнению с базовым вариантом), диоксида углерода (на 40 %) и оксидов азота (на 55–98 %)

В ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А.В.Лыкова» НАН Беларуси (ГНУ «ИТМО») в 2003–2005 годах проведена работа «Получение синтез-газа из углеводородного топлива в каталитическом процессе частичного окисления». Установлено, что выпускаемые промышленностью катализаторы, нанесенные на керамические носители, из-за своей низкой механической прочности не могут применяться в реакторах, размещаемых на борту автотранспорта и подвергающихся неконтролируемым механическим нагрузкам (вибрация во время движения), которые могут привести к разрушению носителя, уплотнению слоя катализатора в реакторе, снижению объемной скорости реакции и, как следствие, уменьшению производительности, а также засорению синтез-газа пылеобразными фрагментами катализатора и выходу из строя двигателя.

В 2006 году в ГНУ «ИТМО» проведена работа «Разработка бортового генератора водородсодержащих добавок для повышения эффективности и экологической чистоты двигателей внутреннего сгорания». Установлено положительное влияние добавок водородсодержащих газов на эффективность работы двигателя и улучшение его экологических показателей.

В 2015–2016 годах в ГНУ «ИТМО» проведены исследования процесса гидролиза водного раствора боргидрида натрия на специальных катализаторах и создан стационарный генератор сверхчистого водорода с постоянной скоростью потока водорода. Предполагается, что данный генератор водорода будет обладать производительностью, превосходящей мировые аналоги.

Следует отметить, что в настоящее время также ведутся работы по развитию методов некаталитического парциального окисления метана, протекающего в химических реакторах сжатия [5]. Данные реакторы создаются на базе двигателей внутреннего сгорания или свободнопоршневых генераторов газа. В Объединенном институте высоких температур РАН разработан генератор синтез-газа на базе дизельного двигателя Д245.7 производства ОАО «Минский моторный завод». Институтом нефтехимического синтеза РАН предложен генератор водородсодержащего газа на базе газового двигателя ДГ68Д производства ПАО «РУМО». ООО «Научно-производственная фирма «ЭКИП» разработало свободнопоршневой генератор компримированного синтез-газа, работающий на принципе частичного окисления углеводородного сырья при высоких температурах и в условиях недостатка кислорода. Однако все вышперечисленные установки отличаются значительными объемами вырабатываемого синтез-газа и обладают массогабаритными показателями, делающими их непригодными для размещения на борту автотранспортных средств. Тем не менее, перспективы применения некаталитических генераторов синтез-газа (химических реакторов сжатия) на железнодорожном и судовом транспорте весьма широки.

Введение добавки синтез-газа, содержащего водород  $H_2$ , оксид углерода  $CO$  и короткоживущие радикалы, к основному топливу — природному газу способствует более полному и эффективному протеканию процесса сгорания. Такое сгорание, с одной стороны,

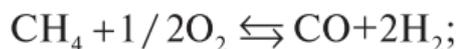
приводит к улучшению экологических характеристик двигателя, а с другой стороны, позволяет снизить эксплуатационные затраты за счет уменьшения запальной дозы дизельного топлива. Кроме этого, наличие водорода в топливе способствует снижению выбросов твердых частиц углерода, на поверхности которых адсорбируются канцерогенные полициклические ароматические углеводороды, в частности высокотоксичный бензапирен  $C_{20}H_{12}$ .

Использование водородосодержащего газа, получаемого на борту транспортного средства с газодизельным двигателем, в качестве добавки к основному топливу (природному газу) позволит дополнительно решить другую важную экологическую задачу — снижение выбросов  $NO_x$ . На сегодняшний день для снижения выбросов  $NO_x$  широко применяются системы нейтрализации с использованием технологии SCR (Selective Catalytic Reduction — селективное каталитическое восстановление) с подачей специального деминерализованного водного раствора карбамида (32,5%  $NH_2CONH_2$  + + 67,5%  $H_2O$ ), реализуемого в странах Европейского союза под торговой маркой AdBlue, а в США — DEF (Diesel Exhaust Fluid). Однако данные реагенты, имеющие температуру замерзания около минус 11 °С, без принятия специальных мер по обогреву системы хранения и дозирования при понижении температуры окружающего воздуха могут переходить в твердую фазу и фактически перестают поступать в систему нейтрализации отработавших газов. Это приводит к автоматическому переходу двигателя в сервисный (аварийный) режим работы с ограничением крутящего момента, что делает полноценную эксплуатацию автотранспортного средства невозможной.

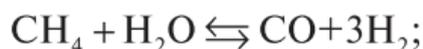
При использовании для нейтрализации  $NO_x$  вместо специальных реагентов водородосодержащего газа, получаемого из природного газа, можно существенно упростить эксплуатацию транспортного средства, оснащенного газодизельным двигателем, в зимних условиях.

В настоящее время широко используются следующие методы окислительной конверсии метана в синтез-газ

- парциальное окисление кислородом:



- паровая конверсия:



- углекислотная конверсия:



Количественный состав получаемого синтез-газа различен. При парциальном окислении кислородом синтез-газ имеет состав  $\text{CO}/\text{H}_2 = 1:2$ , при паровой конверсии —  $1:3$ , а при углекислотной конверсии —  $1:1$ . Реакция парциального окисления является экзотермической, т. е. сопровождается выделением теплоты, а процессы паровой и углекислотной конверсии — эндотермические, протекающие с поглощением тепла.

Каталитические генераторы синтез газа на основе процесса парциального окисления кислородом воздуха (т. н. воздушная конверсия) наиболее просты с конструктивной точки зрения и сравнительно компактны для размещения на борту автотранспортного средства, однако обладают рядом существенных недостатков, перечисленных ниже.

В силу особенностей процесса парциального окисления метана, протекающего в генераторах синтез-газа с выделением теплоты, безвозвратно теряемой в окружающую среду, суммарный КПД процесса снижается на 5–7 %.

Для использования в качестве добавки к топливу в ДВС синтез-газ должен иметь возможно большее содержание водорода, т. к. наличие в составе окиси углерода  $\text{CO}$  способствует повышенному образованию диоксида углерода  $\text{CO}_2$  в отработавших газах двигателя. Этот факт

практически сводит к нулю эффект снижения выбросов CO<sub>2</sub> при использовании природного газа в качестве топлива, о котором упоминалось выше. То есть теряется один из факторов, определяющих мотивацию перехода на газовое топливо.

В процессе парциального окисления в компактных генераторах синтез-газа в качестве окислителя используют кислород, содержащийся в воздухе. При этом синтез-газ содержит свыше 50 % инертных компонентов (главным образом, азот N<sub>2</sub>), что приводит к снижению наполнения цилиндров свежим зарядом воздуха и, соответственно, к потере мощности.

Выполненные в ФГУП «НАМИ» расчетные и экспериментальные исследования рабочих процессов газодизельных двигателей выявили пути устранения вышеуказанных недостатков и условия, при которых достоинства газодизеля могут быть в полной мере реализованы. Установлено, что введение в топливно-воздушную смесь водородосодержащего газа с высоким содержанием водорода и минимально возможным содержанием CO и инертных газов позволит эффективно инициировать процесс сгорания на режимах малых и средних нагрузок и улучшить топливную экономичность.

В ФГУП «НАМИ» разработана концепция создания автотранспортных средств с экологичными газодизельными двигателями, лишенными отрицательных качеств классического газодизеля, потенциал которого при традиционных технологиях используется лишь частично. Теоретически и экспериментально обоснован новый способ организации рабочего процесса газодизеля.

Принципиальное отличие предлагаемого ФГУП «НАМИ» подхода заключается в том, что для получения синтезгаза используется не процесс воздушной конверсии, а комбинированный паровой и углекислотный риформинг в сочетании с парциальным окислением воздухом. Если воздушная конверсия приводит к потере суммарного КПД на 5–7 % (из-за

потерь теплоты, выделяющейся при окислении топлива в ходе экзотермической реакции, в окружающую среду), то с использованием нового генератора синтез-газа ожидается прирост суммарного КПД на 5–7 % за счет применения эндотермических и автотермических реакций с использованием теплоты отработавших газов. При этом содержание водорода в синтез-газе может быть доведено до 70–80 % с существенным снижением доли CO, N<sub>2</sub> и инертных компонентов.

Для реализации предлагаемых технических решений необходимо разработать новые катализаторы, обладающие высокой эффективностью и производительностью при пониженных температурах проведения процесса, высокой механической прочностью, стойкостью к термоциклированию, невысокими показателями себестоимости, энерго- и материалоемкости производства. Одними из важнейших требований к каталитическому блоку бортового генератора являются возможность быстрого запуска процесса и получение контролируемого количества синтез-газа из топлива (природного газа) в зависимости от режима работы двигателя. Высокая производительность новых катализаторов обеспечивает малые габариты генератора синтез-газа, малое время запуска и выхода на стационарный режим работы, а их высокая механическая прочность, стойкость к истиранию и вибрационным нагрузкам может служить гарантией сохранности двигателя в процессе эксплуатации после интегрирования генератора в топливную систему автомобиля.

Разрабатываемые катализаторы будут обладать значительной теплопроводностью (по сравнению с традиционными катализаторами, нанесенными на керамические носители), что позволит нивелировать градиент температуры по сечению реактора и обуславливает постоянство состава синтез-газа при заданных условиях проведения процесса. Количество производимого синтез-газа задается расходом исходных компонентов, а малое время контакта, обусловленное эффективностью

катализатора, обеспечивает отсутствие релаксационных явлений при изменении входных потоков.

В части совершенствования рабочего процесса в газодизельном процессе предполагается применить ряд решений для повышения индикаторного КПД двигателя за счет оптимизации процесса сгорания. В частности, будет применен смешанный количественно-качественный способ регулирования мощности двигателя, новая система питания и комплексная система управления «двигатель — генератор синтез-газа — система нейтрализации отработавших газов — автомобиль». Для эффективной организации рабочего процесса состав топливной смеси (обогащение ее водородсодержащим газом) будет оперативно меняться в зависимости от нагрузки на двигатель.

Сочетание этих двух технологий — новых способов организации процесса конверсии природного газа в бортовых генераторах синтез-газа и организации рабочего процесса газодизельного двигателя позволит обеспечить высокие технико-экономические и экологические показатели, отвечающие самым жестким требованиям действующих и перспективных нормативных документов Союзного государства и развитых стран мира.

Заключение. Одним из путей увеличения эффективности использования моторных топлив в двигателях внутреннего сгорания является изменение их состава добавками водородсодержащего синтез-газа, получаемого посредством термokatалитической конверсии части исходного топлива. Присутствие водорода в топливной композиции создает благоприятные условия для инициации процесса горения.

Получение водородсодержащего газа на борту транспортного средства в компактных каталитических реакторах исключает необходимость создания широкой инфраструктуры централизованного производства, хранения и транспортировки водорода как моторного топлива. Производство водородсодержащего синтез-газа в малых

количествах непосредственно на месте потребления (на борту АТС) без стадий промежуточного накопления и хранения может радикально улучшить ситуацию с безопасностью эксплуатации транспортных средств, работающих на традиционных и альтернативных топливах.

Реализация смешанной воздушно-пароуглекислотной конверсии природного газа в бортовом генераторе водородсодержащего синтез-газа в сочетании с новым способом организации рабочего процесса газодизельного двигателя позволит обеспечить повышение эффективности использования альтернативных топлив в энергоустановках и автотранспортных средствах. Выполненные в данной области исследования свидетельствуют о возможности значительного снижения концентраций нормируемых компонентов в отработавших газах до значений, не превышающих законодательно установленные величины.

Наиболее перспективным вариантом применения рассмотренных технологий является городской маршрутный и коммунальный транспорт, а также специальная техника.

Отметим возможность использования  $H_2$  в электрохимических газовых аккумуляторах. В этих аккумуляторах  $H_2$  реагирует с кислородом и происходит выделение электрической энергии. Газовые аккумуляторы рассматривают в качестве источников энергии для перспективных транспортных средств. С этой точки зрения накопление конструкторских и технологических решений в областях производства и транспортировки  $H_2$  приобретает еще большее значение.

#### **Использованные источники:**

1. Лукшо, В.А. О повышении топливной экономичности автотранспортных средств с газовыми двигателями / В.А.Лукшо // Тр. НАМИ. — 2014. — Вып. № 257. — С. 5–22. 3.

2. Мищенко, А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей / А.И. Мищенко. — Киев: Наук. думка, 1984. — 141 с.

3. Применение синтез-газа в качестве добавки к основному топливу в транспортных средствах: состояние и перспективы / В.А. Кириллов [и др.] // Теоретич. основы химической технологии. — 2011. — Т. 45, № 2. — С. 139–154.